

MERILNI SISTEM SPEKTRALNEGA ANALIZATORJA S FIKSNO NAMEŠČENIMI FOTOPOMNOŽEVKAMI

Iztok Kramberger, Mitja Solar

Fakulteta za elektrotehniko računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru,
Maribor, Slovenija

Ključne besede: atomska spektroskopija, monokromator, analogno-digitalni pretvornik, optične komunikacije, mikrokrmilnik, programirna logična vezja, USB vodilo

Izveček: Predstavljena je sodobna zasnova merilnega sistema analizatorja ultravijoličnega svetlobnega spektra. Merilni sistem je predstavljen za spektralni analizator z 64 fiksno nameščenimi fotopomnoževalkami. Pri tem smo: - razvili, za krmiljenje visoke napetosti na fotopomnoževalkah, vezje z digitalnimi potenciometri in tokovno-napetostnimi pretvorniki, - uporabili smo optične vodnike med posameznimi stopnjami ter USB povezavo z osebnim računalnikom, - uporabili programirna logična vezja in mikrokrmilnike v posameznih delih merilnega sistema. Posebno skrb smo namenili nadzoru delovanja sistema in avtokalibraciji. Tako zasnovan merilni sistem je primeren za avtomatizirano meritev svetlobnega spektra z možnostjo dodatne obdelave izmerjenih vrednosti s programskimi orodji na osebnem računalniku. Dodana je možnost nadzora spektralnega analizatorja preko spleta.

The Spectral Analyzer Measurement System with Fix Placed Photomultiplier Tubes

Key words: spectrometer, atomic spectroscopy, monochromator, analog-to-digital converter, optical communication, microcontroller, programmable logic devices, USB bus, plug&play

Abstract: Design and implementation of 64-channel spectral analyzer measurement system for ultraviolet spectrum of light is presented. The basic idea was to build a versatile measurement system for spectral analyze in atomic spectroscopy employment using of up-to-date digital and communication solutions. A basic structure and schematic drawing of an atomic spectral analyzer with 64-photomultipliers is presented in Figure 1 and 2. Figure 3 shows a monochromator. The first step in the spectral measurement system an attenuator system with high-voltage power supply system and attenuator module is presented. The next step is analog-to-digital measurement module with an analog-to-digital input module and system controller module. Analogue current-to-voltage converter, voltage-to-frequency converter and frequency-to-digital converter are in the structure of input analog-to-digital module. Figures 7, 8 and 9 present individual converters. All of 64-channels are connected to two digital measurement modules with 32-channels per module. The digital modules are connected to the system controller. The system controller is presented with a block diagram on Figure 10 and contains a microcontroller ATmega103. Its serial and parallel ports are used for communication with digital module, LCD bus, LCD display and USB bus for communication with a personal computer. At the same time, the ATmega103 is connected to a temperature and vacuum sensor with analogue inputs, to FLASH memory programmer with SPI bus and with a serial bus UART to an attenuator module. The high-voltage module and analog-to-digital module are isolated with fibre-optic communication from system controller and attenuator module. Four fibre-optic lines are used from analog-to-digital module to digital module.

Measurement acquisition is carried out in two steps. The first step is the initialization of all system modules. In the attenuator system, the high-voltage for power supply of photomultiplier tubes are set to the initialization state. All digital counters in digital modules are set to the reset state. High-voltage on photomultiplier tubes and reset of digital counter on the digital module is set. Measurement value in the second step is acquired. For increasing reliability of measurement system an auto calibration function in both steps of measurement acquisition is used. In Figure 13, the schematic drawing of multilevel model for communication between user and measurement system is showed. The user can use the system methods and objects. They are represented in Tables 1 and 2. In the results, transfer function and error function of analog-to-digital module, analog-to-digital and digital module together, transfer function of vacuum and temperature sensor and transducer, transfer function of high-voltage regulator, current limiting characteristic of high voltage regulator and transfer function of attenuator module are presented.

1 Uvod

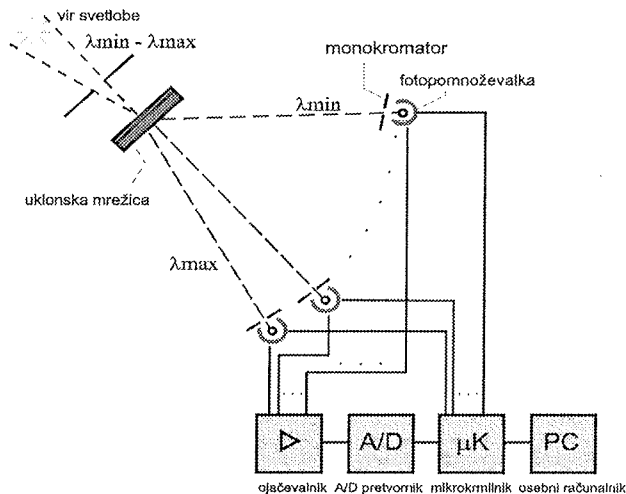
Spektrometri so selektivni instrumenti grajeni za analiziranje posameznega področja elektromagnetnih valov. Spektroskopija se uporablja na primer za analize materialov, ki jih ne smemo uničiti (dragocene slike), materialov, ki niso dostopni (zdravila v zaprtih stekleničkah), pri analizi preveč oddaljenih objektov (raziskovanje zvezd) in podobno. Pri tem se spektroskopija ne omeji samo na vidno svetlobo ampak zajame elektromagnetna valovanja širše, kot so rentgenski žarki, ultravijolična in infrardeča svetloba.

Eno od področji spektralne analize je atomska spektroskopija, ki raziskuje zgradbo snovi. Po načinu delovanja ločimo atomsko: - emisijo, - absorbcijo in - fluorescenco. Pri atomski emisiji analiziramo vir svetlobe (plamen). Pri atomski absorbciji se del svetlobe iz širokopasovnega vira absorbira v plamenu in opazujemo neabsorbirane komponente svetlobe. Pri atomski fluorescenci pa se pod vplivom dodatnega vira pojavijo v plamenu posamezne stimulirane komponente svetlobe.

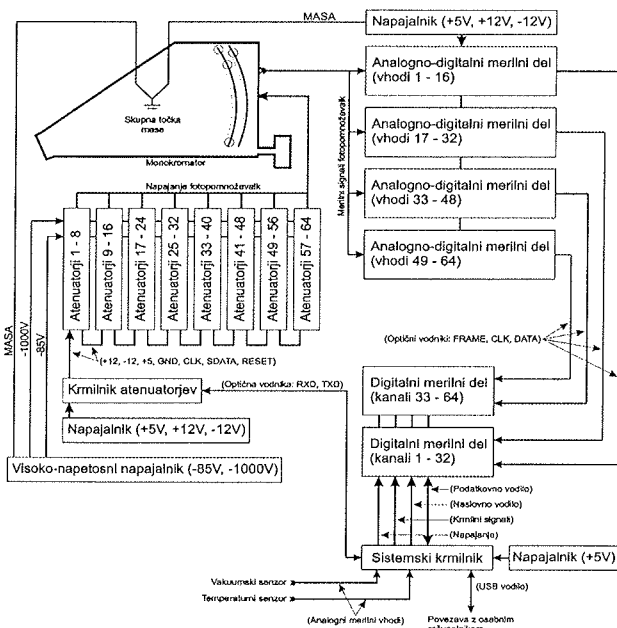
Predstavili bomo merilni sistem spektrometra za analizo ultravijolične svetlobe, ki je uporaben za vse tri načine delovanja /1,2,3/.

2 Zgradba atomskega spektrometra

Atomski spektrometer ima: vir svetlobe na vходу, monokromator z uklonsko mrežico ali prizmo /2,6/ za razdelitev spektra na komponente, fotopomnoževalne vakuumске elektronke in merilni sistem. Merilni sistem /1,13,16/ vsebuje: vhodne ojačevalnike, analognο-digitalne pretvornike, mikrokrmilnike in komunikacijska vezja za povezavo z osebnim računalnikom.



Slika 1. Splošna zgradba atomskega spektralnega analizatorja.
Figure 1. Basic structure of an atomic spectral analyzer.

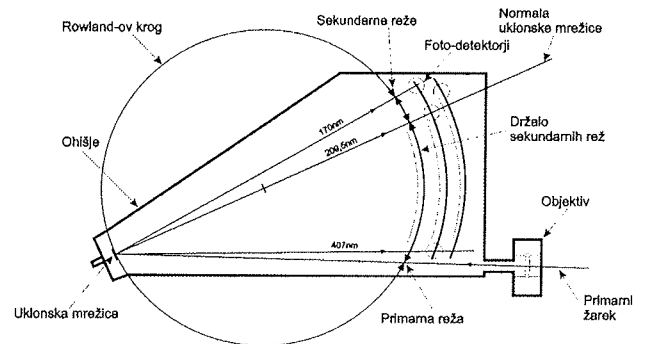


Slika 2. Blokovna shema atomskega spektralnega analizatorja s 64 fotopomnoževalkami.
Figure 2. Schematic drawing of atomic spectral analyzer with 64-photomultipliers.

2.1 Monokromator

Konkavno zrcalni monokromator proizvajalca spektrometrov Thermo Electron Corporation (ARL model 31000 z 2160 (režami/mm)) vsebuje: primarno režo, konkavno uklonsko mrežico, po principu Rowland-ovega kroga nameščene sekundarne reže in fiksno nameščene fotodetektorje (fotopomnoževalne cevi). Pri tem je razmestitev Paschen-ova /3/, ki odpravi rabo gibajočih delov. Prednost uklonske mrežice pred prizmo je v njeni enakomerni porazdelitvi svetlobe na posamezne spektralne komponente, slabost pa prekrivanje pasov.

Monokromator lahko deluje v vakuumskem ali zračnem načinu. V vakuumskem načinu delovanja ni absorpcije svetlobe, zato je ta način primeren za ultravijolično svetlobo valovnih dolžin od 170nm do 400nm. V zračnem načinu pa opazujemo svetlobo iz vidnega spektra v območju od 250nm do 610nm. Pri spremembi načina delovanja moramo zamenjati uklonsko mrežico. Sekundarne reže so nameščene kot maske pred fotodetektorji in zagotavljajo osvetlitev detektorjev z ozkim pasom svetlobe - spektralno črto.



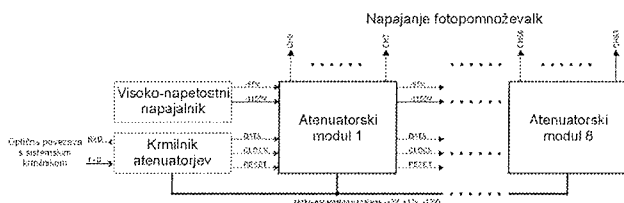
Slika 3. Monokromator.
Figure 3. Monochromator.

2.2 Fotodetektor

Za detektorje svetlobe so uporabljene fotopomnoževalne vakuumске elektronke - IP27 podjetja Hamamatsu /4/. Fotopomnoževalka IP27 vsebuje devet dinod in pri najvišji napajalni napetosti 1250V zagotovi tokovno ojačenje 10^7 . Pri tem naj anodni tok ne preseže $100\mu A$. Za napajanje dinod je uporabljena veriga devetih uporov velikosti $300k\Omega$.

2.3 Atenuatorski sistem

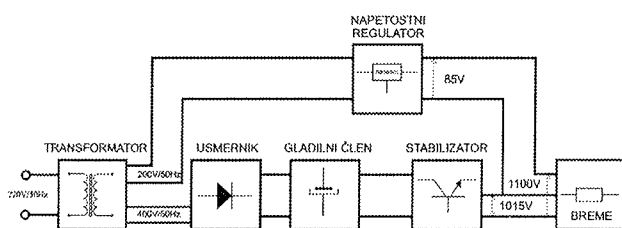
Atenuatorski sistem omogoča izbiranje želene vrednosti napajalne napetosti ločeno za vsako fotopomnoževalko, s čimer nastavlamo ojačenje. Pri višji napajalni napetosti je ojačenje fotopomnoževalke večje in pri enaki intenzivnosti vpadle svetlobe dobimo večji izhodni anodni tok. Ojačenja posameznih fotopomnoževalk je potrebno nastavljeni z ozirom na zahteve spektralne analize.



Slika 4. Atenuatorski sistem.
Figure 4. The attenuator system.

Atenuatorski sistem napaja 64 fotopomnoževalk in je sestavljen iz: visokonapetostnega napajalnika, krmilnika atenuatorjev in osmih atenuatorskih modulov z osmimi izhodi.

2.3.1 Visokonapetostni napajalnik



Slika 5. Napajalnik.
Figure 5. Power supply system.

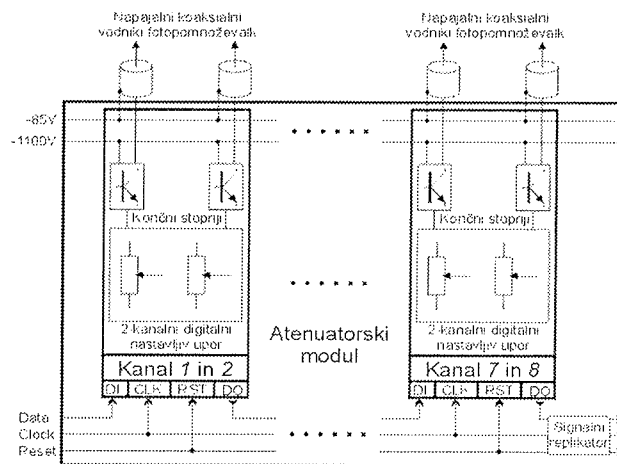
Omrežna napetost je priključena na transformator, ki ima na sekundarni strani navitji z napetostjo 200V in 400V /7/. Iz napetosti 200V je z napetostnim regulatorjem HIP5600 /5/ dobljena napetost -85V za napajanje anod fotopomnoževalk. Posamezna anoda je vezana preko upora velikosti 10kΩ na Millerjev integrator. Le-tega odlikuje velika linearnost. Iz 400 V izmenične napetosti dobimo iz dvovalnega množilnika enosmerno napetost velikosti 1074V, ki jo visokonapetostni stabilizator zmanjša na 1015V. Stabilizirana napetost 1015 V je potrebna za napajanje diod fotopomnoževalk. Napetostni stabilizator napetosti s tokovno zaščito je narejen z diskretnimi elementi in zagotovi ustrezno napetost za breme z upornostjo do 19,1kΩ.

2.3.2 Atenuatorski modul

Blokovna shema atenuatorskega sistema je podana na sliki 6. Izbira velikosti napajalne napetosti je izvedena s krmilnikom atenuatorjev /8/. Za vsako od 64 fotopomnoževalk je izvedena ločena krmilna stopnja z digitalno spremenljivimi upori DS1267 /9/. V enem digitalno spremenljivem uporu sta dva osem-bitna uporovna delilnika, s katerimi nastavljamo referenčno napetost za napajanje dveh fotopomnoževalk.

Za krmilnik atenuatorjev je uporabljen Atmelov RISC mikrokrmilnik AT90S8515 v CMOS tehnologiji. V mikrokrmilniku vgrajen asinhron zaporedni vmesnik je uporabljen za komunikacijo s sistemskim krmilnikom. Povezava s sistemskim krmilnikom je izvedena po dveh optičnih vodnikih.

Glavni program v mikrokrmilniku ob sprejetem pravilnem ukazu izvede nastavitve zelenih vrednosti napajalnih napetosti fotopomnoževalk. Ob sprejetju nerazumljivega ukaza ali ob nepravilnih parametrih ukaza krmilnik atenuatorjev o napaki obvesti sistemski krmilnik, ki glede na tip napake ustrezno reagira.



Slika 6. Blokovna shema atenuatorskega modula.
Figure 6. Block diagram of the attenuator modul.

Iz krmilnika atenuatorjev se željena digitalna vrednost zaporedno vpiše v register digitalnega uporabnega delilnika. Z nastavljenimi upornostjo izbiramo napetost na vhodu napetostno-tokovnega pretvornika. Napetostno-tokovni pretvornik je izveden z operacijskim ojačevalnikom in visokonapetostnim tranzistorjem BUX85. Na visokonapetostnem uporabnem delilniku dobimo napajalne napetosti za posamezne diode fotopomnoževalke /1,7/.

2.4 Analogno-digitalni merilni modul

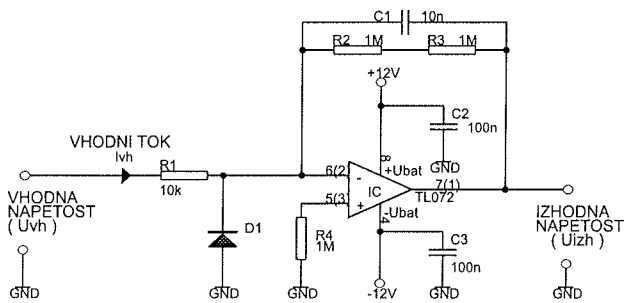
Merilni sistem spektralnega analizatorja je zgrajen iz:

- štirih vhodnih modulov z: 16 analognimi vhodi, analogno-digitalnimi pretvorniki izvedenimi z napetostno-frekvenčnimi pretvorniki, vezjem za združevanje in izbiranje kanalov (multiplexer);
- dveh digitalnih merilnih modulov z 32 kanali in
- modula sistema krmilnika.

Analogni vhod vsebuje tokovno-napetostni pretvornik /23/ s prenosno funkcijo opisano z enačbo: $U = -k_{in} \cdot I_{vh}$, kjer je $k_{in} = R_2 + R_3 = 2 \cdot 10^6 / \Omega$. Pričakovano območje vhodnih tokov je od 0 do $-2,5 \mu A$, celotno vhodno območje pretvornika pa od 0 do $-5 \mu A$ in izhodno U_{izh} od 0 V do +10 V.

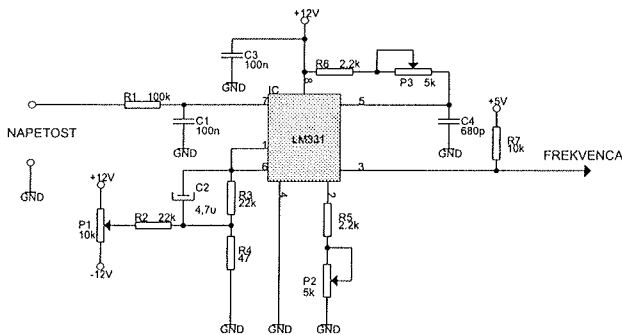
Izbran operacijski ojačevalnik TL072 ima visoko vhodno upornost (JFET tranzistorji), nizek šum, majhna mirovna vhodna tokova in vhodni ničelni tok.

Napetostno-frekvenčni pretvornik je izveden z integriranim vezjem LM331 /20/. Prenosna funkcija napetostno-frekvenčnega (U/f) pretvornika je podana v izrazu: $f = k_{uf} U = 20(kHz/V)U_{izh}$. Za območje vhodnih napetosti od 0 do



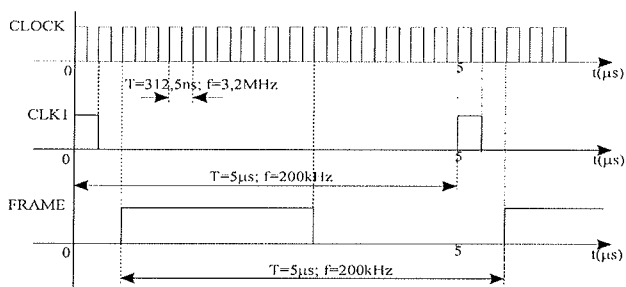
Slika 7. Tokovno-napetostni pretvornik.
Figure 7. The current-to-voltage converter.

10V je območje izhodnih frekvenec je od 0 do 200kHz. V primeru, ko bo vhodni tok v tokovno-napetostni pretvornik večji od $-2,5\mu\text{A}$, bo $U_{iz} > 5\text{V}$ in bo izhodna frekvenca večja od 100 kHz.



Slika 8. Napetostno-frekvenčni pretvornik.
Figure 8. The voltage-to-frequency converter.

Da bi zmanjšali število povezav med posameznimi kanali in sistemskim krmilnikom, je na vhodnem modulu dodano vezje za združevanje in izbiranje kanalov. To vezje zajema hkrati vrednosti iz izhodov 16 U/f pretvornikov v taktu CLK1 v vzporedno-zaporedni register. Med dvema impulzoma za zajem pa drugi del vezja sinhrono z uro CLOCK zaporedno odda na treh linijah: signal ure za sinhronizacijo CLK1, 16-bitne podatke posameznega kanala in okno FRAME oziroma okvir, v katerem so poslani podatki posameznega kanala (slika 9).

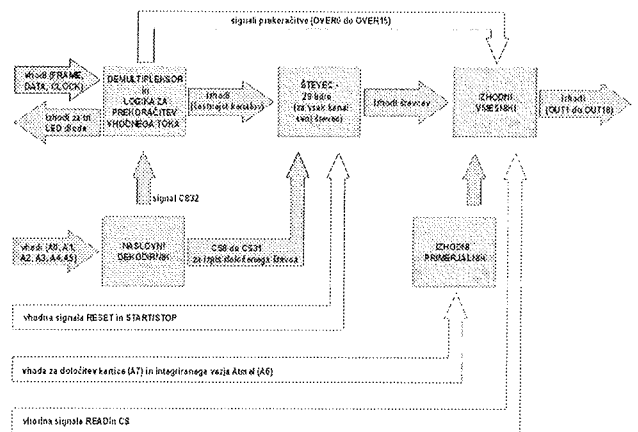


Slika 9. Signali FRAME in CLOCK.
Figure 9. The signals FRAME and CLOCK.

Tako je za povezavo med vhodnim modulom in sistemskim krmilnikom dovolj povezava s tremi optičnimi vodniki za vsakih 16 kanalov. Uporabljeni so Thoshibini digitalni optični povezovalni moduli TORX173 /18/ in TOTX173 /19/. Celotni 16-kanalni združevalnik in izbiralnik je izveden v programirljivem logičnem vezju Lattice ipsLSI1016 /17/.

2.5 Digitalni merilni modul

Dva digitalna merilna modula, z 32 merilnimi kanali na modul, sprejemata merilne signale iz štirih analognih merilnih modulov. Digitalni merilni modul ima dve programirljivi polji logičnih vrat AT40K20LV/21/ z $2 \times 16 = 32$ merilnimi kanali. V statični RAM vezja AT40K20LV se ob vklopu vpiše konfiguracijska nastavitve iz EEPROM pomnilnika AT17LV512 /22/. V AT40K20LV vezjih se najprej izvrši razdruževanje sprejetih signalov na posamezne kanale, nato pa se preveri za vsak kanal prekoračitev zgornje meje toka iz fotopomnoževalke $-2,5\mu\text{A}$. Ker se signal v analogno-digitalnem modulu vzorči s frekvenco 200kHz, bo ob nastopu največje vrednosti vhodnega toka $-2,5\mu\text{A}$ na izhodu prisoten impulz v vsakem drugem okviru 16-bitne besede. V primeru večjega toka od $-2,5\mu\text{A}$ se bo impulz pojavil v vsakem podatkovnem okvirju. V tem primeru se izmerjena vrednost izloči. V naslednji meritvi se zmanjša napajalno napetost fotopomno-ževalke in s tem njeno tokovno ojačenje. Po izbranem časovnem intervalu 10s predstavlja vsebina števca vsoto merjenih vhodnih impulzov, ki je premosorazmerna z vhodnim tokom. Pri $-2,5\mu\text{A}$ toka dobimo: $(1 \text{ impulz} / 10\mu\text{s}) \times 10\text{s} = 10^6$ impulzov. Impulze prešteje 20-bitni števec ($2^{20} = 1048576$). Vrednost 20-bitnega števca za posamezni kanal se poveča s pozitivno fronto prenešenega impulza.

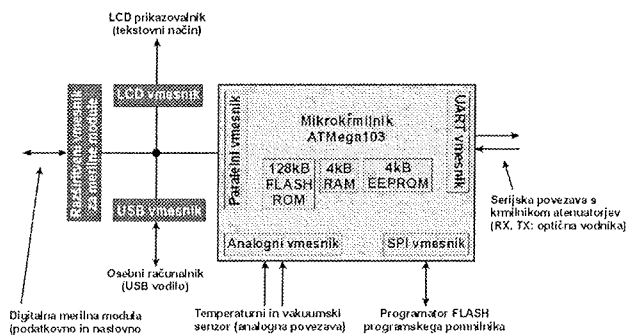


Slika 10. Digitalni merilni modul.
Figure 10. The digital measurement module.

Naslovne linije A0 do A5 so uporabljene za dekodiranje kanalov, A6 za naslavljanje posameznega integriranega vezja FPGA, A7 pa za naslavljanje digitalnega merilnega modula. CS0 do CS31 so interne naslovne linije po dve na kanal, ker je vodilo 16-bitno in sta potrebni po dve 16-bitni besedi za 20-bitni rezultat. Z CS32 je naslovljen vektor prekoračitve.

2.6 Sistemski krmilnik

Sistemski krmilnik s svojim programom povezuje implementirane module spektralnega analizatorja v funkcionalno celoto.



Slika 11. Blokovna shema sistema krmilnika.
Figure 11. Block diagram of the system controller.

Povezave sistema krmilnika z drugimi moduli so izvedene z optičnimi vodniki. To so:

- povezava s krmilnikom delilnikov, s katerim nastavlja napajalno napetost za fotopomnoževalke,
- povezave z digitalnimi merilnimi moduloma, s katerih dobi izmerjene vrednosti tokov,
- povezava s senzorjem za merjenje temperature in vakuumu v monokromatorju,
- zaporedni vmesnik SPI uporabljen za programiranje programskega FLASH pomnilnika in že omenjena
- povezava z USB vodilom z osebnim računalnikom.

Sistemski krmilnik je 8-bitni mikrokrmilnik ATmega103 /14/ z RISC arhitekturo. Vsebuje programski in podatkovni pomnilnik ter večino vhodno-izhodnih vmesnikov, ki so potrebni za izvedbo sistema krmilnika. Za povezavo med sistemskim krmilnikom in USB vodilom je uporabljeno integrirano vezje PDIUSB12 /15/. Na sistemski krmilnik je priključen LCD prikazovalnik s tekstovnim zapisom. Leta je zelo uporaben pri razvijanju naprave, saj omogoča sprotno izpisovanje kontrolnih vrednosti sistema krmilnika. Ob nastopu napak pri prenosih lahko spremljamo vrednosti in kontroliramo stanje povezav.

Sistemski krmilnik dostopa do števec digitalnega merilnega modula preko 16-bitnega podatkovnega vodila. Za naslavljanje števec je uporabljeno osem naslovnih linij in krmilna signala za izbiro integriranega vezja CS in signal za branje oziroma vpisovanje R/W. Za krmiljenje meritev sta dodana signala RESET in START/STOP. S signalom RESET se izbršujejo vsebine vseh merilnih števec in naprava se pripravi za novo meritev. Meritev se začne s krmilnim signalom START v logičnem stanju enice oziroma se po izbranem intervalu konča s signalom STOP v stanju logične ničle. Vsebine števec se zadržijo do nastopa RESET signala.

Za boljši nadzor nad delovanjem merilnega sistema so dodani indikatorji na vseh optičnih povezavah. Ob izpadu

katere od optičnih povezav ugasne ustrezna svetleča LED dioda.

V času razvoja je možno vpisati vsebine v integrirana vezja iz osebnega računalnika. S tem je odpravljeno zamudno izvajanje programiranja raznih tipov ROM pomnilnikov. Ob tem je enostavno preizkušanje logičnih sklopov celotnega logičnega vezja na izvedenih modulih.

2.6.1 Temperaturni senzor

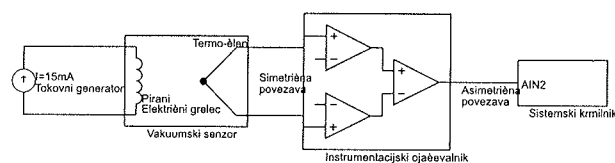
Temperaturni senzor je nameščen na železno ohišje monokromatorja. Specificirani podatki za mono-kromator so podani pri temperaturi 25°C. Dovoljena je sprememba temperature ohišja za $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Uporabljen integriran polprevodniški analogni temperaturni senzor DS699 podjetja Dallas. Pri napajalni napetosti med 2,7V in 5,5V je izhodna napetost senzorja $U = 6,25(\text{mV}/^\circ\text{C}) T(^\circ\text{C}) + 424\text{mV}$. Območje senzorja je od -40°C do $+125^\circ\text{C}$ in je za naše potrebe preširoko. Prilagoditev nivojev med senzorjem in analogno-digitalnem A/D pretvorniku vgrajenem v vezju sistema krmilnika ATmega 103 /14/ je izvedeno z napetostnim ojačevalnikom z ojačenjem $A_u = 6$. Na vходу analogno-digitalnega pretvornika dobimo pri $T = 10^\circ\text{C}$ napetost 2,919V in pri $T = 65^\circ\text{C}$ napetost 5V. Pri 10-bitnem A/D pretvorniku z območjem med 0 in 5V je korak 4,89mV. S tem izmerimo temperaturo na $0,13^\circ\text{C}$, kar je za našo napravo zadostovalo.

Temperaturni senzor oziroma izhod ojačevalnika je povezan na prvi analogni vhod sistema krmilnika.

2.6.2 Vakuumski senzor

Optične poti, ki so podane za predstavljen monokromator, veljajo samo v primeru vakuumu v komori monokromatorja. Vakuum zagotovi vakuumška črpalka, ki neprestano črpa zrak iz komore monokromatorja. V komori monokromatorja je nameščen vakuumski senzor, katerega izhodni signal se ojači in poveže na drugi analogni vhod sistema krmilnika.

Princip delovanja vakuumskega senzorja je Piranijev /12/. Če postavimo v prostor s plinom električno ogrevan kos žice, je njegova temperatura odvisna od pritiska plina, saj je njegova toplotna prevodnost odvisna od spremembe pritiska plina. Temperaturo žice meri termočlen.



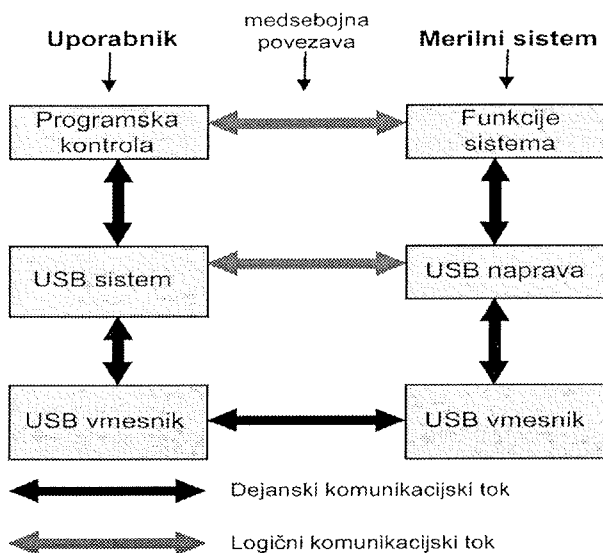
Slika 12. Priključitev vakuumskega senzorja na analogni vhod sistema krmilnika.
Figure 12. Simplified connection diagram of vacuum sensor to analog input of system controller.

Območje napetosti iz sensorja je dano v mejah: za normalni zračni tlak $P_1 = 101325 \text{ Pa}$ je $U_1 = 0,599 \text{ V}$ in za vakuumsko stanje $P_2 = 101,325 \text{ Pa}$ je $U_2 = 4,99 \text{ V}$.

2.7 Programska oprema

Popolno avtomatizacijo merilnega postopka analize svetlobe omogoča programska oprema, ki je nameščena na osebnem računalniku. Osebni računalnik mora imeti vgrajeno USB vodilo za komunikacijo s spektralnim analizatorjem. Programska oprema je izdelana za operacijske sisteme Windows 98, Windows 2000, Windows NT4 in Windows XP v obliki programske komponente tipa ActiveX /10/.

Pri razvoju aplikaciji je možno uporabiti različne programske jezike, kot so Visual C++, Visula Basic, Delphi, C++ Bilder in podobni. Uporabnik lahko izvede vizualizacijo glede na svoje potrebe, možno pa je programsko komponento spektralnega analizatorja uporabljati v že izvedenih aplikacijah, kot na primer v urejevalnikih tabel Microsoft Excel, s pomočjo njihovega skriptnega jezika. Prav tako je možno programsko komponento spektralnega analizatorja uporabiti v Internetu z vizualizacijo na poljubnem računalniku, vezanem na splet.



Slika 13. Prikaz večnivojskega modela komunikacije med uporabnikom in merilnim sistemom.

Figure 13. Schematic drawing of multilevel model for communication between user and measurement system.

Ob dinamični priključitvi spektralnega analizatorja na osebni računalnik omenjeni operacijski sistemi avtomatično prepoznajo priključeno napravo pri vključitvi na vodilo (po standardu Plug&Play /11/).

Programska komponenta spekt64.dll je tipa ActivX in predstavlja dinamično programsko knjižnico, v katero je preslikana funkcionalnost spektralnega analizatorja kot

celote. Merilne metode in lastnosti izvedene programske komponente delimo na: sistemske metode in lastnosti, ki omogočajo izvajanje sistemskih ukazov in z njimi povezanih parametrov namenjenih konfiguraciji sistema, ter uporabniške metode in lastnosti, ki so vezane na merilni postopek spektralne analize svetlobe.

Glede na enote delimo sistemske metode in lastnosti: asinhronega zaporednega vmesnika, analogno-digitalnega pretvornika, LCD tekstovnega prikazovalnika, časovnika in digitalnih merilnih modulov.

| Asinhroni zaporedni vmesnik | |
|---|----------------------------------|
| objekt. Baudrate vrednost | objekt. ReadSerialData |
| objekt. SerialInterfaceOn | objekt. WriteSerialData vrednost |
| objekt. SerialInterfaceOff | objekt. BytesReceived |
| Analogno-digitalni pretvornik | |
| objekt. ADCSampleFrequency | objekt. ADCStartConversion |
| objekt. ADCOn | objekt. ADCValue |
| objekt. ADCOff | |
| Tekstovni LCD prikazovalnik | |
| objekt. LCDOn | objekt. LCDShowCursor vrednost |
| objekt. LCDOff | |
| Tekstovni LCD prikazovalnik | |
| objekt. LCDOn | objekt. LCDShowCursor vrednost |
| objekt. LCDOff | |
| Tekstovni LCD prikazovalnik | |
| objekt. LCDClear vrednost | objekt. LCDWrite vrednost |
| objekt. LCDLocate vrednost | |
| asovnik | |
| objekt. TimerOn | objekt. TimerOff |
| objekt. TimerInterval vrednost1, vrednost2, vrednost3 | |
| objekt. TimerStart | |
| Digitalni merilni moduli | |
| objekt. ResetChannels | objekt. Test |
| objekt. ReadChannels | objekt. TestAttenuators vrednost |
| objekt. ReadOver vrednost | |

Tabela 1. Sistemske metode in lastnosti.

Table 1. System methods and objects.

Uporabniške metode in lastnosti, ki so podane v tabeli 2, se nanašajo na merilni postopek spektralne analize svetlobe. Pri izvajanju meritve se uporabljajo uporabniške in sistemske metode in lastnosti, ob tem pa se preverja pravilnost delovanja merilnega sistema.

| Uporabniške metode in lastnosti | |
|---|---------------------------|
| objekt. Attenuator vrednost1, vrednost2 | |
| objekt. SaveAttenuators vrednost | objekt. UpdateAttenuators |
| objekt. LoadAttenuators vrednost | objekt. SetAttenuators |
| objekt. MeasureInterval | objekt. ResetData |
| objekt. Measure | objekt. GetData |
| objekt. GetControl | objekt. GetTemperature |
| objekt. GetVacuum | |

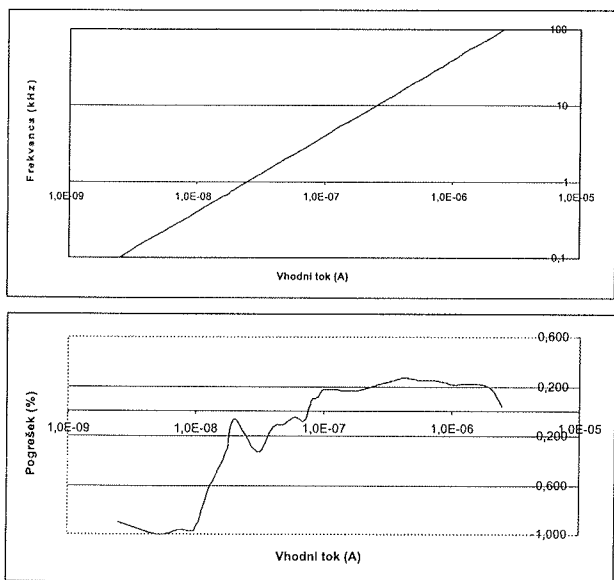
Tabela 2. Uporabniške metode in lastnosti.

Table 2. User methods and objects.

3 Rezultati

Delovanje merilnega sistema spektralnega analizatorja smo preizkusili po posameznih sklopih. Analogno-digitalni merilni modul vsebuje tokovno-napetostni in napetostno-

frekvenčni pretvornik. Na vhod dobi tok iz fotopomnoževalk in daje na izhodu impulze s frekvenco od nič do 100 kHz. Za umerjanje modula sta referenčni vrednosti toka na vohodu analogno-digitalnega merilnega modula: $-i_{vh}=0$, pri tej vrednosti vhodnega toka je frekvenca izhodnega signala pravokotne oblike $4 \leq f_{iz} \leq 5 \text{ Hz}$ in $-i_{vh} = -2,5 \mu\text{A}$, pri tej vrednosti toka je frekvenca izhodnega signala $f_{iz} = 100 \text{ kHz}$. Prenosna funkcija idealnega analogno-digitalnega modula je podana z enačbo premice: $f_{iz}(i_{vh}) = f_{iz}(0) + k_{ifi} \cdot i_{vh} = 40 \text{ (kHz / } \mu\text{A)} \cdot i_{vh}$. Na sliki 14 je podana prevajalna funkcija in funkcija pogreška analogno-digitalnega merilnega modula.



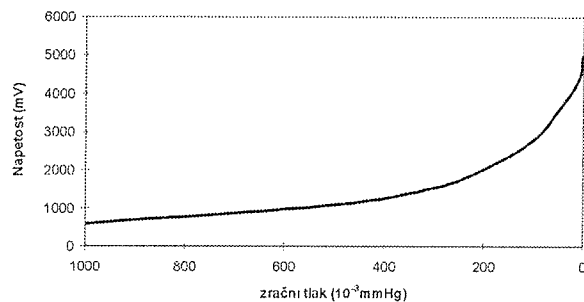
Slika 14. Prevajalna funkcija in relativni pogrešek analogno-digitalnega merilnega modula.
 Figure 14. Transfer function and relative error of the analog-to-digital modul.

Največji pogrešek je -1% pri majhnih tokovih do 50 nA ter $\pm 0,2\%$ med 50 nA in $2,5 \mu\text{A}$. Zaradi večjih pogreškov za tokove pod 50 nA se z nastavitvami napajalnih napetosti fotopomnoževalk z atenuatorji zagotovili začetni tok 100 nA .

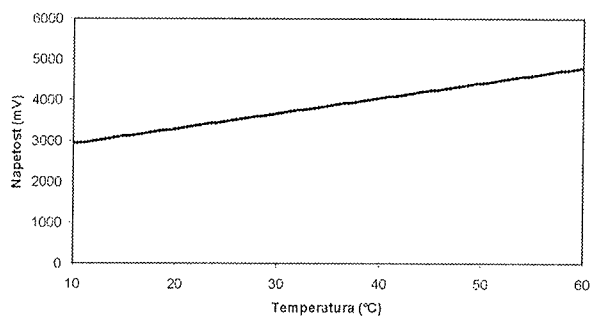
Prevajalna funkcija vakuumskega tipala z instrumentacijskim ojačevalnikom je nelinearna. Za potrebe spektralne analize je pomembno, da je v monokromatorju prisoten vakuum, sama nelinearnost karakteristike ni bistvena.

Temperaturna karakteristika tipala in ojačevalnika je v podanem območju linearna in omogoča spremljanje temperature do $\Delta T = \pm 0,5^\circ\text{C}$ točno. Območje zanimivih temperature je od $+10^\circ\text{C}$ do $+60^\circ\text{C}$.

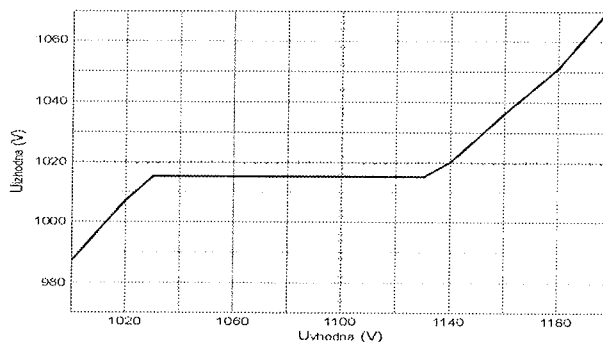
Visokonapetostni stabilizator napetosti za napajanje dinod fotopomnoževalk daje $U_{izhodna} = 1015 \text{ V}$ napetosti z obremenitvijo do 50 mA . Pri tem potrebuje na vohodu napetost U_{vhodna} v območju od 1030 V do 1130 V . Prevajalna funkcija visokonapetostnega stabilizatorja napetosti je bila izmerjena z ločilnim avto-transformatorjem, zato je območje vhodne napetosti do 1200 V .



Slika 15. Prevajalna funkcija vakuumskega tipala in instrumentacijskega ojačevalnika.
 Figure 15. Transfer function of vakuum sensor and instrumentation amplifier.



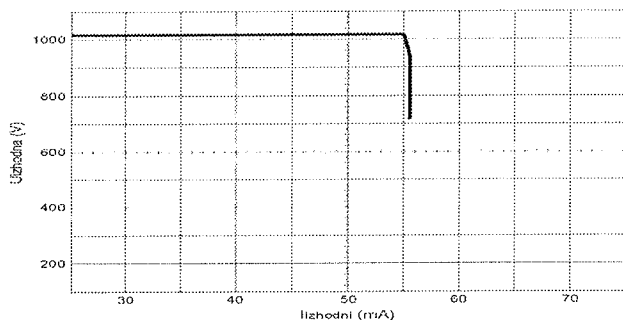
Slika 16. Prevajalna funkcija temperaturnega tipala in ojačevalnika.
 Figure 16. Transfer function of the temperature sensor and amplifier.



Slika 17. Prevajalna funkcija visokonapetostnega stabilizatorja napetosti.
 Figure 17. Transfer function of high voltage regulator.

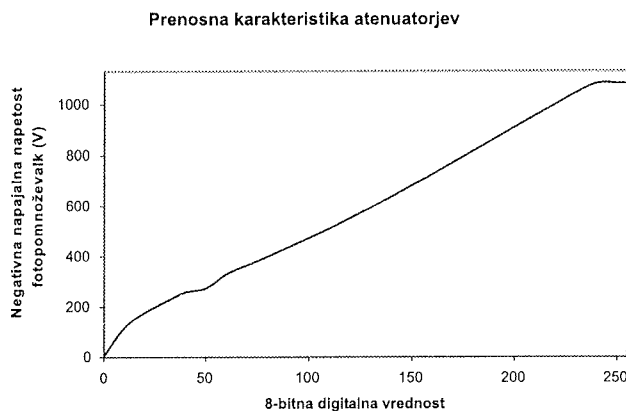
Iz obremenilne karakteristike visoko-napetostnega napajalnika, vidimo da je največji tok do 55 mA .

Atenuatorski moduli nastavljajo napetosti posameznih fotopomnoževalk. Prevajalno funkcijo smo izmerili od začetne vrednosti 0 do končne vrednosti 255 V območju, ki je potrebno za nastavljanje napetosti fotopomnoževalk od 300 V do 1100 V je prevajalna karakteristika linearna.



Slika 18. Obremenilna karakteristika visokonapetostnega stabilizatorja napetosti.

Figure 18. Current limiting characteristic of high voltage regulator.



Slika 19. Prevajalna funkcija atenuatorskih modulov.

Figure 19. Transfer function of the attenuator modules.

4 Sklep

Vodilna podjetja, ki izdelujejo atomske spektrometre, so Advance Research Laboratories (ARL), Perkin Elmer in Hewlett Packard. Ker je število spektrometrov v uporabi relativno majhno glede na druge merilne sisteme, je posodabljanje merilnih sistemov počasno. V prispevku smo predstavili možnosti realizacije 64-kanalnega merilnega sistema namenjenega za spektralno analizo ultravijoličnega svetlobnega spektra. Ugotovili smo, da je z novimi rešitvami možno izgraditi učinkovite merilne sisteme, pri tem pa je dodana: - komunikacija s svetlobnimi vlakni med posameznimi moduli merilnega sistema, ki zagotovi galvanško ločitev med stopnjami, - hitra komunikacija med merilnim sistemom in osebnim računalnikom preko USB vodila, - upravljanje z merilnim sistemom preko spleta.

Programska oprema v merilnem sistemu omogoča hitro prilagajanje spektralne analize za različne tipe analize. Pri tem je nastavljanje ojačenja fotopomnoževalk neposredno z mikrokrmilnikom samo ena od prednosti predlagane posodobitve analizatorja spektra.

5 Literatura

- /1/ I.Kramberger. *Izgradnja merilnega sistema spektralnega analizatorja s fiksno nameščenimi fotokatodami*. magistrsko delo, Univerza v Mariboru, FERi Maribor, Nov 2000.
- /2/ R.C.Denney. *A dictionary of Spectroscopy*. Macmillan Reference Books, 1982.
- /3/ M.Born, E.Wolf. *Principles of Optics*. Cambridge University Press, 1980.
- /4/ Hamamatsu Photonics. *Photomultiplier Tubes*. Electron Tubes Center, Japan, 1998.
- /5/ Harris Semiconductor. *HIP5600, Thermally protected high voltage linear regulator*. 1998.
- /6/ E.B.Brown. *Modern Optics*. Reinhold Publishing Corporation, London, 1965.
- /7/ N. Rajh. *Visokonapetostni napajalnik*. diplomsko delo, Univerza v Mariboru, FERi Maribor, Maj 2000.
- /8/ A. Munda. *Krmilnik visokonapetostnega napajalnika*. diplomsko delo, Univerza v Mariboru, FERi Maribor, Feb 2001.
- /9/ Dallas Semiconductor. *DS1267, Dual digital potentiometer chip.*, 1999.
- /10/ G.Eddon, H.Eddon. *Programming Components with Microsoft Visual Basic 6.*, 1998.
- /11/ Microsoft Corporation. *Plug and Play for Windows 2000*. Redmond USA, 1999.
- /12/ P.W.Atkins, M.J.Frazer, M.J.Clugstnron, R.A.Y.Jones. *Kemija - Zakonitosti in uporaba*. Tehniška založba Slovenije, 1995.
- /13/ R.D.Beaty, J.D.Kerber. *Concepts, Instrumentation and Techniques in Atomic Absorption Spectrophotometry*. Perkin Elmer, 1993.
- /14/ Atmel Corporation. *ATMega 103/103L*, 1998.
- /15/ Philips Semiconductors. *PDIUSB12 USB Interface device with parallel bus*, Januar 1999.
- /16/ C.F.Coombs, jr. *Electronic instrument handbook*. McGraw-Hill, 2000.
- /17/ Lattice Semiconductor Corp.: *ispLSI1016 High-Density Programmable Logic*, 1997.
- /18/ Toshiba: *Fiber optic Receiving Module TORX173*, 1997.
- /19/ Toshiba: *Fiber optic Transmitting Module TOTX173*, 1997.
- /20/ National Semiconductor: *LM331 Precision Voltage-to-Frequency Converter*, 1994.
- /21/ Atmel: *AT40K FPGAs with FreeRAM*, 1999.
- /22/ Atmel: *FPGA Configuration E2PROM Memory*, 1998.
- /23/ T. Pukšič. *Tokovno-frekvenčni pretvorniki z digitalnim števcem*. diplomsko delo, Univerza v Mariboru, FERi Maribor, Maj 2000.

Iztok Kramberger, Mitja Solar
Fakulteta za elektrotehniko računalništvo in informatiko
Univerza v Mariboru
Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenija
iztok.kramberger@uni-mb.si_mitja.solar@uni-mb.si